秦巴山区夏季NDVI变化特征及其对气候因子的响应

付沙沙[1]， 彭 威[1,2]， 邵爱梅[1]， 蔡迪花[3]， 罗苗欣[1]， 刘兆京[1]

（1. 兰州大学大气科学学院，甘肃 兰州 730000； 2. 湖南农业大学化学与材料科学学院，湖南 长沙 410128；
3. 中国气象局兰州干旱气象研究所，甘肃 兰州 730020）

摘 要：基于2001—2019年夏季逐月NDVI数据和2—8月气象数据，对秦巴山区NDVI变化趋势、NDVI对气候因子变化的时滞效应进行分析。结果表明：秦巴山区NDVI整体呈增加趋势，极显著增加面积占比最大，为77.1%。NDVI与气温、降水均以正相关为主，且与气温的相关性高于降水。NDVI对气候因子变化的时滞响应存在地域差异，在研究区西部NDVI对气温变化具有及时性，对降水变化以滞后2个月为主；在中部响应时间具有纬度差异，对气温和降水变化由北向南分别以滞后1个月、0个月和0个月、3个月为主；在东北部对气温、降水变化均以滞后3个月为主，在东南部对气温变化具有及时性，对降水变化以滞后3个月为主。本研究为秦巴山区夏季暴雨及其诱发的地质灾害的预警提供参考依据。

关键词：NDVI； 气候因子； 趋势分析； 秦巴山区； 时滞响应

植被是陆地生态系统的主要组成部分，在全球气候变化中起着重要作用[1-2]。气候变化作为植被活动时空变化的主要驱动力，通过引起植被生物物理响应过程的变化[3]，从而对全球碳循环、物质能量平衡等产生影响[4]。不同区域和地形条件下，由于几何特征和水热特征不同，植被生长状况和覆盖类型有明显差异，植被对水热条件的响应关系也不尽相同[5]，如林地、草地类型植被对降水响应较大，居民用地类型植被对气温响应较大[6]。植被变化也影响区域气候模拟结果，虽然大陆尺度上总降水量的年际变化对植被年际变化不太敏感[7-9]，但在区域尺度上地表温度和湍流地表通量对植被变化的响应显著，这种情形在季风雨带的外围尤其明显[9]。在气候多变和地理环境复杂的区域，植被生态对气候变化响应较为敏感[10]。因此，研究复杂地形植被变化与气候因子的相互关系，可为气候变化敏感区的生态环境建设和有效治理提供参考依据，也可为区域气候模拟研究提供可用的植被和气候变化信息。

归一化植被指数NDVI（Normalized Difference Vegetation Index）具有时空连续性，可定量监测地表植被覆盖的动态变化，是表征植被生长状况的最佳指标[2]。利用NDVI数据开展植被动态变化及其与气候因子关系的研究已有很多[11-12]，这些研究分析了不同区域、不同时间尺度NDVI变化特征及对气候因子的响应。研究发现，我国NDVI总体呈增加趋势[13]，除个别地区受降水影响外，主要受气温升高影响[4]。其中，黄河源区生长季NDVI增加主要受气温升高影响，随海拔升高影响越大[14]；呼伦贝尔草原NDVI增加主要由降水驱动，与降水普遍呈正相关[15]；长江三角洲和珠江三角洲由于快速城市化影响，NDVI呈急剧下降趋势[13]。多时间尺度下，三江源NDVI对气温和降水变化敏感程度相当，植被生长主要受春季和秋季（季节尺度）、4月和10月（月尺度）气候条件控制[16]。因此，植被与气候因子关系的研究结果在区域尺度和时间尺度上存在一定差异性[1]，有必要开展不同区域、不同时间尺度NDVI变化特征及其对气温、降水变化的响应研究。

秦巴山区地形复杂，区域内植被生长受气候因子影响，是全球变化区域响应的敏感区[17]。为此，已有学者对秦巴山区NDVI与气候因子的关系进行研究[18-21]。研究发现，秦巴山区植被覆盖呈中间高、四周低分布，近年来植被覆盖整体呈增加趋势，与

收稿日期：2023-03-23； **修订日期**：2023-06-19
基金项目：科技基础资源调查专项“中国南北过渡带综合科学考察”(2017FY100900)资助
作者简介：付沙沙（1995-），女，硕士研究生，从事资料同化和数值模拟方面的研究. E-mail: fushsh21@lzu.edu.cn
通讯作者：邵爱梅. E-mail: sam@lzu.edu.cn

地表温度呈正相关，且随海拔升高，对地表温度响应越大[18-19]。MODIS、SPOT VEG 和 $GIMMS_{3g}$ 三种NDVI数据对秦巴山区植被年际变化有较好的一致性，均呈显著增加趋势，SPOT VEG数据表明：NDVI与气温主要呈正相关，与降水正负相关并存[20]。秦巴山区积温日数、干湿度指数等气候指标具有海拔依赖性[17]。

以往对秦巴山区植被研究的时间尺度多以生长季或年尺度为主[18,21]，大多集中在陕西省境内[21]，主要讨论NDVI变化趋势及其与气候因子的相关关系[18-20]，尚没有分析这一区域植被对气候变化的滞后响应。秦巴山区夏季暴雨和地质灾害多发[22]，给当地人民生命财产安全造成严重威胁。为此，本文利用秦巴山区2001—2019年夏季逐月NDVI数据和2—8月气温、降水数据，在对NDVI、气温、降水时空变化特征进行分析的基础上，通过滞后相关分析法，探讨夏季NDVI对气候因子变化的滞后效应，以期为应对秦巴山区夏季气候变化、夏季暴雨及其诱发的地质灾害的预报预警提供参考依据。

1 数据与研究方法

1.1 研究区及数据

秦巴山区（图1）地处102°~114°E、30°~36°N之间，横跨川、陕、渝、甘、豫、鄂五省一市，是长江流域与黄河流域的分界线，也是我国南北过渡带的主体。过渡带地理位置使秦巴山区地带性植被由南向北从常绿阔叶林带逐步向落叶阔叶林带过渡。秦巴山区夏季湿热、冬季湿冷，海拔差异大，具有多维地带性变化特点，是我国气候变化敏感区研究的天然实验室。

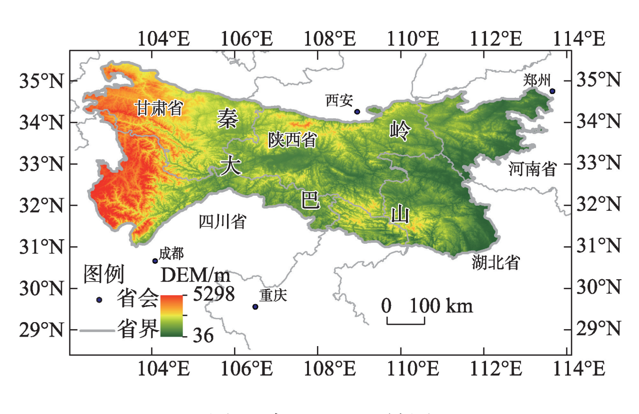


图1 秦巴山区区域图

Fig. 1 The outline map of the Qinling-Daba Mountains

本研究使用的DEM（Digital Elevation Model）数据、2001—2019年夏季逐月NDVI数据均来源于中国科学院资源环境科学与数据中心（http://www.resdc.cn），其空间分辨率分别为250 m和1 km，其中，将NDVI年平均值＜0.1的像元视为非植被覆盖区予以排除，月NDVI值≤0的像元也进行排除以减少积雪和水的影响[3]。

2001—2019年2—8月逐月累积降水量和平均气温数据集来源于“国家青藏高原科学数据中心”（http://data.tpdc.ac.cn）[23-27]，其空间分辨率为0.0083333°。在数据分析之前，利用ArcGIS将DEM、气温、降水数据插值到和NDVI数据相同的投影坐标系和空间分辨率，根据秦巴山区矢量边界进行裁剪，得到研究区NDVI、气象和地形因子数据。

1.2 研究方法

本研究采用趋势分析、相关分析[3]和滞后相关分析方法来分析秦巴山区夏季NDVI的变化趋势、NDVI与气候因子的相关特征及对气候因子变化的时滞响应。其中，用滞后相关系数 R^* 来表征NDVI对气温或降水等气候因子变化的时滞效应，即

$$R^* = \max\{R_0, R_1, R_2, R_3, \cdots, R_n\} \quad (1)$$

式中：R_0, R_1, R_n 分别表示NDVI与当前月、前推一个月、前推 n 个月的某一气候因子之间的相关系数。若 $R^* = R_n$，则说明NDVI对该气候因子变化的响应滞后时间为 n 个月。

地形位指数T可综合反映研究区高程和坡度[28]的空间分布特征，其计算公式为：

$$\mathrm{T} = \log\left[\left(E/\bar{E}+1\right)\left(S/\bar{S}+1\right)\right] \quad (2)$$

式中：E 和 S 分别为秦巴山区某像元处的高程值和坡度值；$\bar{E}$ 和 $\bar{S}$ 为研究区高程、坡度的平均值。若空间像元高程高、坡度大，则对应位置的地形位指数也大；反之亦然。

2 结果与分析

2.1 NDVI时空变化特征

首先对2001—2019年秦巴山区夏季NDVI数据进行年际变化特征分析，结果表明，秦巴山区夏季平均NDVI总体呈上升趋势，但不同月份上升趋势略有差异（图2a）。夏季平均NDVI以0.6%·a^{-1}的速率缓慢增加，其中，6月增长速率最大，为0.63%·a^{-1}，7月和8月NDVI增长速率均为0.59%·a^{-1}，表明近年

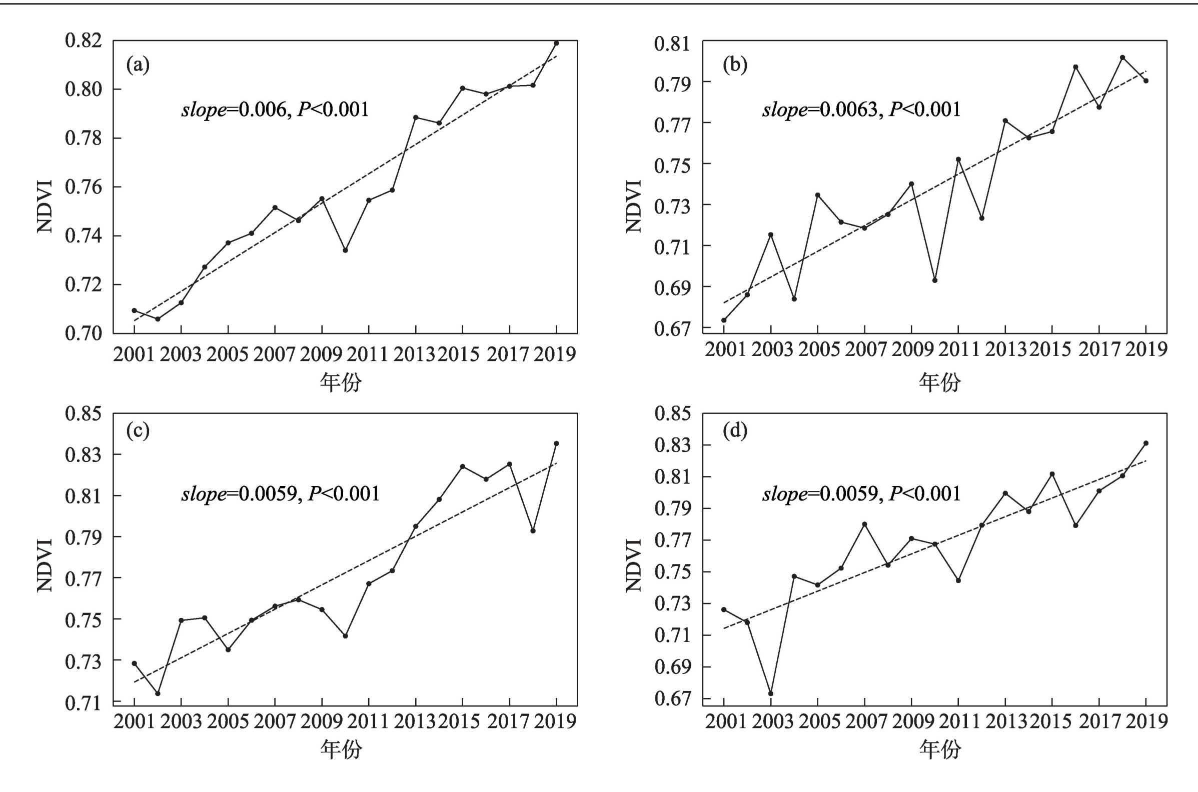


图2 2001—2019年秦巴山区夏季(a)、6月(b)、7月(c)、8月(d)植被NDVI变化趋势

Fig. 2 NDVI change trend in summer (a), June (b), July (c), August (d) in the Qinling-Daba Mountains from 2001 to 2019

来植被生长状况整体得到改善,不同月份NDVI增长速率的差异与气候变暖背景下部分植被生长季始期提前有关[29]。此外,秦巴山区植被覆盖密度整体较高,19 a夏季NDVI均值为0.76,但在不同月份也略有差异,主要表现为6月NDVI均值相对较小(0.74),7月和8月植被覆盖密度更高,NDVI均值为0.77。

除去河湖和冰川等非植被覆盖区影响,根据植被覆盖密度的划分标准[30]:NDVI值 < 0.25为低植被覆盖区,介于0.25~0.4之间为中等植被覆盖区,0.4~0.6之间为高植被覆盖区, > 0.6为浓密植被覆盖区。秦巴山区以浓密植被覆盖区为主(图3a),面积占比92.4%,NDVI > 0.85的区域约占7.5%,主要分布在秦岭中部、伏牛山、米仓山、大巴山及神农架地区。高、中等和低植被覆盖区共占7.6%,主要分布在研究区西部,河南低海拔地区也有少量覆盖。由NDVI均值变化趋势(图3b)及其F检验结果(图3c)可知,秦巴山区NDVI整体呈显著增加趋势,甘肃天水-陇南一带NDVI增加较快;四川北部及汉江流域NDVI呈下降趋势,分布较分散。

基于NDVI变化趋势的显著性对其进行分级(图3d),不同变化类型面积占比如表1所示。植被极显著增加占比最大,这与近年来受退耕还林还草工程影响,秦巴山区生态保护强度和力度加强,一定程度上提高了区域植被覆盖水平有关[31];极显著、显著和略微减少共占1.6%,主要分布在研究区西部(尤其在四川阿坝州)和汉江流域部分地区,西部NDVI退化区域可能与该地区海拔较高、坡度与地形位较大(图4),导致水热条件受到抑制,气候不适宜植被根系生长有关[19]。

2.2 NDVI与气候因子的关系

2.2.1 气温、降水变化特征分析 秦巴山区多年夏季平均气温(图5a)呈西低东高分布。在105°E以西气温普遍偏低,最低可达1.44 ℃,该区域内平均海拔在3500 m以上(图1),坡度和地形位较大(图4);105°~111°E区域,除太白山、米仓山、大巴山及神农架高海拔地区气温相对较低,大部分地区气温超过18 ℃,海拔多在2000 m以下;111°E以东气温普遍较高,尤其在湖北中部气温最高可达27.71 ℃,海拔多位于1000 m以下,坡度和地形位均较小。以上分析表明,秦巴山区气温分布与海拔、地形位、坡度等地形因子有关,统计可知,其相关系数依次为:−0.98、−0.78、−0.34(均通过0.01置信度检验),这表明气温分布与海拔关系较为密切。

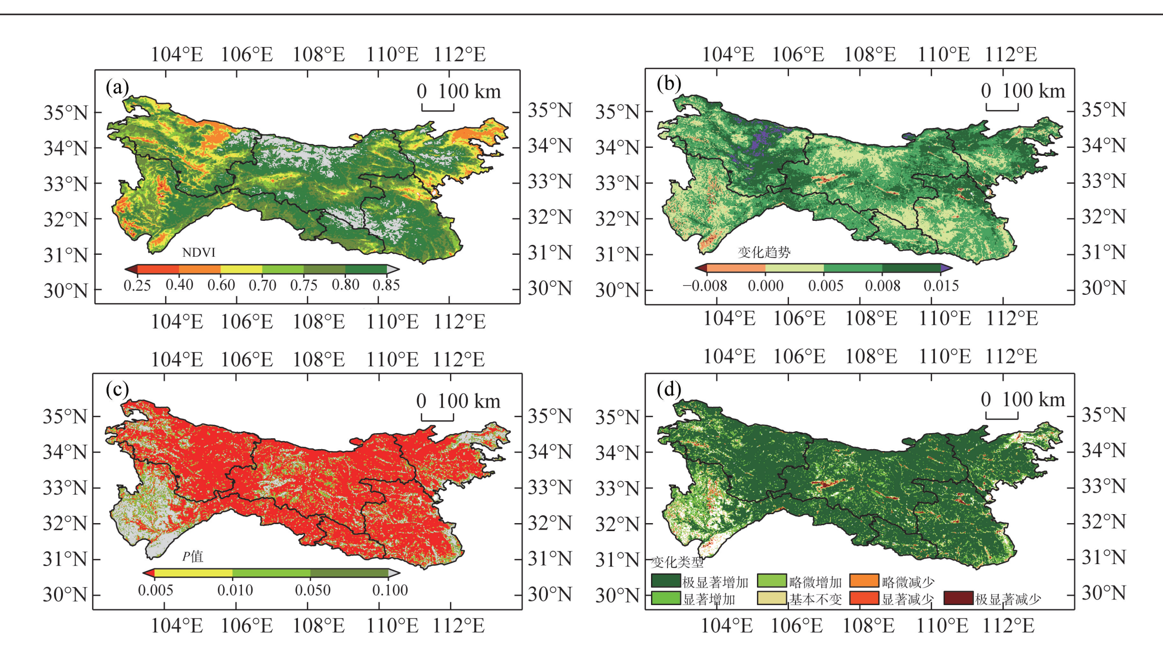


图3 2001—2019年秦巴山区夏季NDVI多年平均(a)、变化趋势(b)、显著性(c)及其变化类型(d)的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of multi-year mean (a), change trend (b), significance level (c) and variation types (d) of NDVI in summer in the Qinling-Daba Mountains from 2001 to 2019

表1 秦巴山区植被NDVI变化趋势分级

Tab. 1 Classification of NDVI trends in the Qinling-Daba Mountains

变化类型	*F*检验显著性水平	NDVI变化斜率	面积覆盖百分比/%
极显著增加	*P*≤0.005	*slope*≥0.002	77.1
显著增加	0.005<*P*≤0.05	*slope*≥0.002	9.3
略微增加	0.05<*P*≤0.1	*slope*≥0.002	2.4
基本不变	*P*>0.1	−0.002<*slope*<0.002	4.9
略微减少	0.05<*P*≤0.1	*slope*≤−0.002	0.3
显著减少	0.005<*P*≤0.05	*slope*≤−0.002	0.6
极显著减少	*P*≤0.005	*slope*≤−0.002	0.7

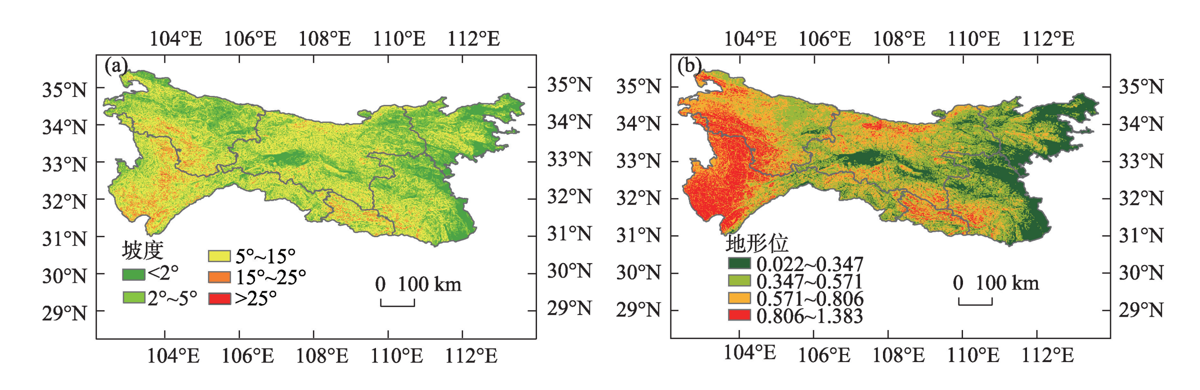


图4 秦巴山区坡度(a)、地形位(b)空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of slope (a) and terrain gradient (b) in the Qinling-Daba Mountains

秦巴山区平均气温变化以上升趋势为主(图5b),其中,四川阿坝州气温上升趋势较大,最大可达0.14 ℃·a^{-1},该区域海拔较高,坡度与地形位较大。降温区零散分布在秦巴山区西部、太白山、大巴山脉及河南西部地区,气温下降趋势略小,最大可达 −0.11 ℃·a^{-1}。统计可得,气温变化趋势与各地形因子均表现为正相关,以海拔、地形位影响为主,相关系数依次为:0.02、0.01,但其相关性低于与

气温的关系。

秦巴山区夏季多年平均降水量从西北向东南逐渐增多(图6a),大巴山脉降水普遍高于秦岭-伏牛山一带,其中,甘肃南部降水偏少,降水低于300 mm,神农架降水高于500 mm。统计可得,秦巴山区降水与海拔、地形位、坡度的相关系数依次为:-0.38、-0.18、0.06(均通过0.01置信度检验),表明秦巴山区降水分布也受地形影响,但其影响程度不如气温明显,这是由于降水还受到环流、可降水量等多种因素的影响。降水变化趋势的空间分布(图6b)表明,106°E以西降水呈增加趋势,随经度增加降水增幅逐渐增大,其大值区位于四川东北部,最大可达5.65 mm·a⁻¹;106°E以东降水呈减少趋势,由西向东减少趋势愈加显著,减少幅度较大的区域位于湖北西北地区,最大可达-8.61 mm·a⁻¹。秦巴山区气温、降水变化及其分布差异可能与该地区不同植被类型光合作用、蒸腾作用等植被生物物理响应过程及地表反照率、地表粗糙度等不同有关[4]。

2.2.2 NDVI与气温的相关性分析 基于秦巴山区2001—2019年夏季逐月NDVI数据,分别计算6—8月NDVI与当前月、前推1个月……前推4个月气温的相关系数,分析NDVI对气温的时滞响应。图7为NDVI与不同滞后时间气温的相关系数分布,通过α=0.05置信度检验的比例分别为29.0%(当前月)、30.2%(前推1个月)、31.9%(前推2个月)、32.2%(前推3个月)和29.3%(前推4个月)。不同滞后时间NDVI与气温相关系数的空间分布大致相似,主要分布在秦巴山区西部、汉中盆地、四川东北部以及河南西部地区,NDVI与气温总体表现为正相关。

取不同滞后时间相关系数(图7)绝对值的最大值来分析NDVI对气温变化的时滞响应(图8),NDVI与气温的滞后相关系数通过α=0.05置信度检验的比例为42.0%(图8a),整体表现为正相关,在研究区西部和东北部正相关分布较集中;NDVI与气温呈负相关的区域主要分布在甘肃临夏和天水的部分地区,汉江流域有零星分布。进一步根据相关系数绝对值的大小进行相关程度分级,其空间分布和面积比分别如图8b和表2所示。由此可知,秦巴山区NDVI与气温呈中等强度相关的面积比最大(19.3%),主要分布在研究区西部(甘肃和政-漳县-

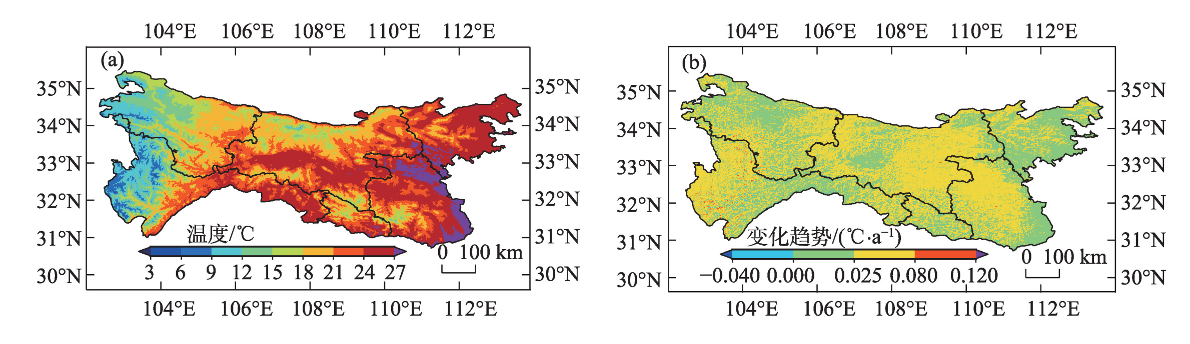


图5 2001—2019年秦巴山区夏季气温多年平均(a)及变化趋势(b)空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of multi-year mean (a) and change trend (b) of temperature in summer in the Qinling-Daba Mountains from 2001 to 2019

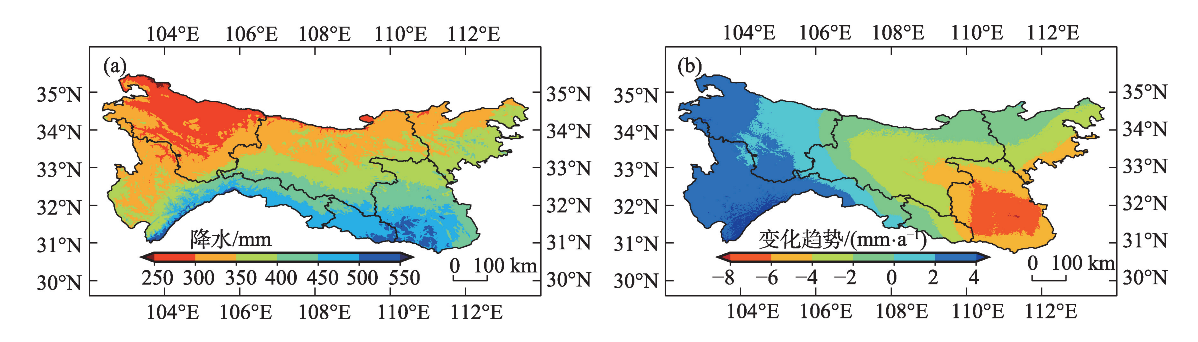
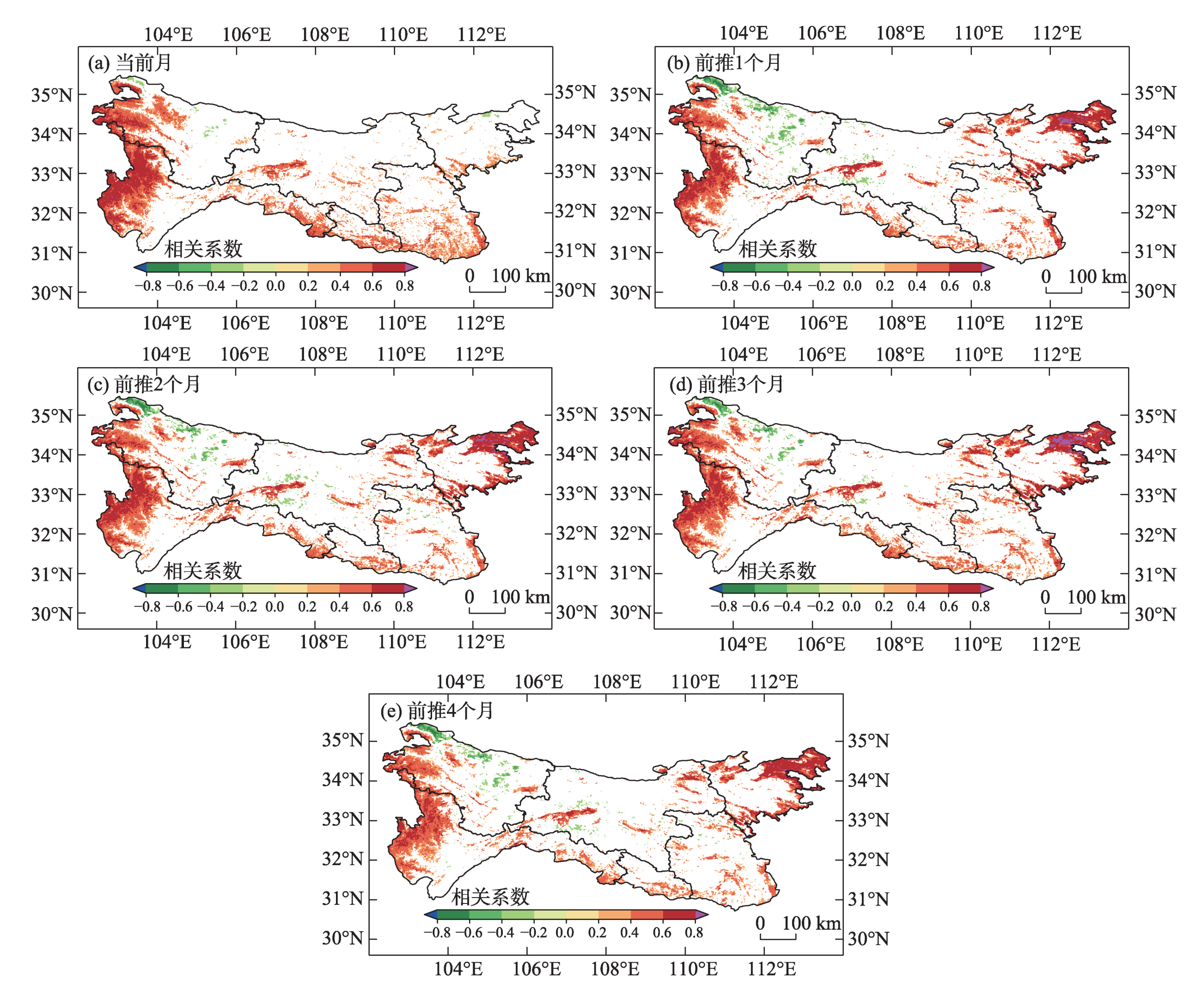


图6 2001—2019年秦巴山区夏季降水多年平均(a)及变化趋势(b)空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of multi-year mean (a) and change trend (b) of precipitation in summer in the Qinling-Daba Mountains from 2001 to 2019



注:研究区内白化部分表示未通过置信度检验的区域(显著性水平α=0.05)。

图7 2001—2019年秦巴山区夏季植被NDVI与不同滞后时间气温的相关系数空间分布

Fig. 7 Spatial distribution of correlation coefficients between the NDVI in summer and temperature in a 0- to 4- month temporal lag in the Qinling-Daba Mountains from 2001 to 2019

甘谷一带以负的中等强度相关为主)及大巴山脉以南部分地区;弱相关次之(18.7%),在研究区分布较分散;强相关最小(4.1%),主要分布在研究区西部部分高海拔地区、汉中盆地及研究区东北部。

从NDVI对气温变化的响应时间分布(图8c)可知,在秦巴山区西部(106°E以西),NDVI对气温变化以滞后0个月为主,说明在该地区NDVI对气温变化具有及时性;在中部(106°~109°E,除秦岭大部分地区未通过显著性的地区外),响应时间分布具有纬度差异,由北向南分别以滞后1个月、0个月为主;在东北部(109°E以东,33°N以北),响应时间以滞后3个月为主,东南部(109°E以东,33°N以南)以滞后0个月为主,说明NDVI对气温变化的响应在研究区东南部较东北部快。图9a给出NDVI对气温变化的不同响应时间面积占比,其中,对气温变化响应较快(滞后期为0个月)的面积占比最大,主要分布在研究区西部,大巴山脉以南也有少量覆盖;对气温变化响应较慢(滞后期为4个月)的面积占比最小,在研究区内零散分布。

2.2.3 NDVI与降水的相关性分析 NDVI与不同滞后时间降水的相关性低于其与气温的相关性,通过α=0.05置信度检验的比例分别为20.7%、13.4%、27.2%、31.8%和29.1%(滞后时间同温度)(图10)。NDVI与当前月、前推1个月降水的相关性空间分布和其他不同滞后时间存在差异,与当前月降水的正相关区域主要分布在甘肃南部和河南西部地区,四川阿坝州与成都、德阳交界地带、汉江流域及周边地区以负相关为主;与前推1个月降水的相关性整

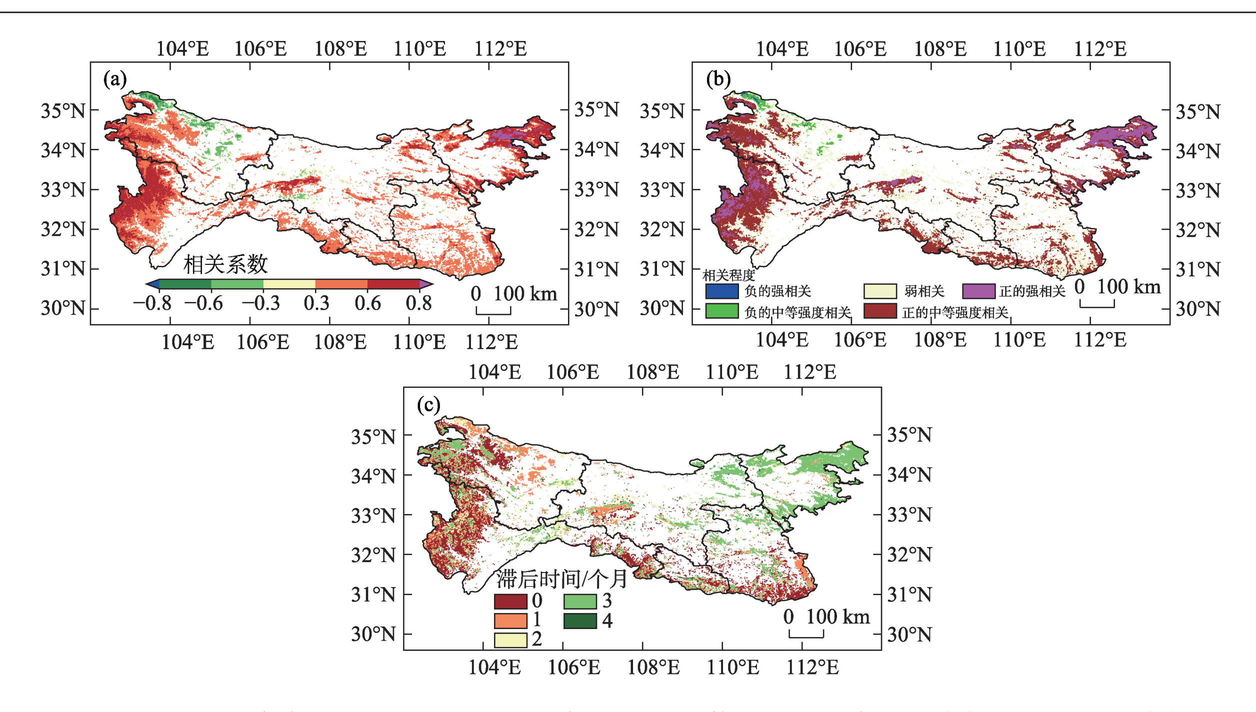


图8　2001—2019年秦巴山区夏季植被NDVI对气温的相关系数(a)、相关程度(b)及响应时间(c)的空间分布

Fig. 8　Spatial distribution of correlation coefficient (a), degree of correlation (b) and response time (c) of NDVI to temperature in summer in the Qinling-Daba Mountains from 2001 to 2019

表2　NDVI−气候因子相关程度划分

Tab. 2　Division of the degree of correlation between NDVI and climate factors

相关程度	相关系数	正相关面积比/%		负相关面积比/%		合计
		NDVI−降水	NDVI−气温	NDVI−降水	NDVI−气温	
强	$0.7<\|r_{xy}\|\leqslant 1$	0.2	4.0	0.1	0.1	4.4
中等	$0.4<\|r_{xy}\|\leqslant 0.7$	19.7	18.3	2.1	1.0	41.1
弱	$0<\|r_{xy}\|\leqslant 0.4$	20.8	15.4	9.8	3.3	49.3
合计		40.7	37.7	12.0	4.4	

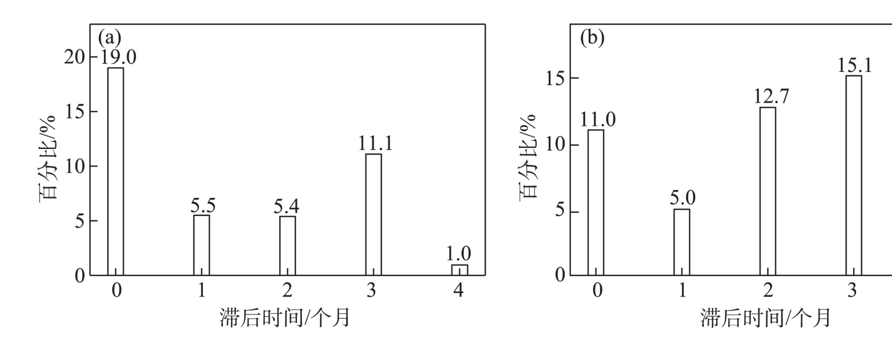


图9　2001—2019年秦巴山区夏季NDVI对气温(a)、降水(b)变化响应时间的面积占比

Fig. 9　Area proportions of response time of NDVI to temperature (a) and precipitation (b) changes in summer in the Qinling-Daba Mountains from 2001 to 2019

体表现为正相关,主要分布在天水−成县−广元一带及河南西部地区;与前推2~4个月降水的相关性空间分布特征和其与相应滞后时间气温的大致相似,整体以正相关为主。

NDVI与降水整体表现为正相关(图11a),除在四川都江堰−茂县−北川一带、汉江流域及其周边地区负相关面积占比较大,大部分区域NDVI与降水的滞后相关性分布特征和其与气温的大致相似,但

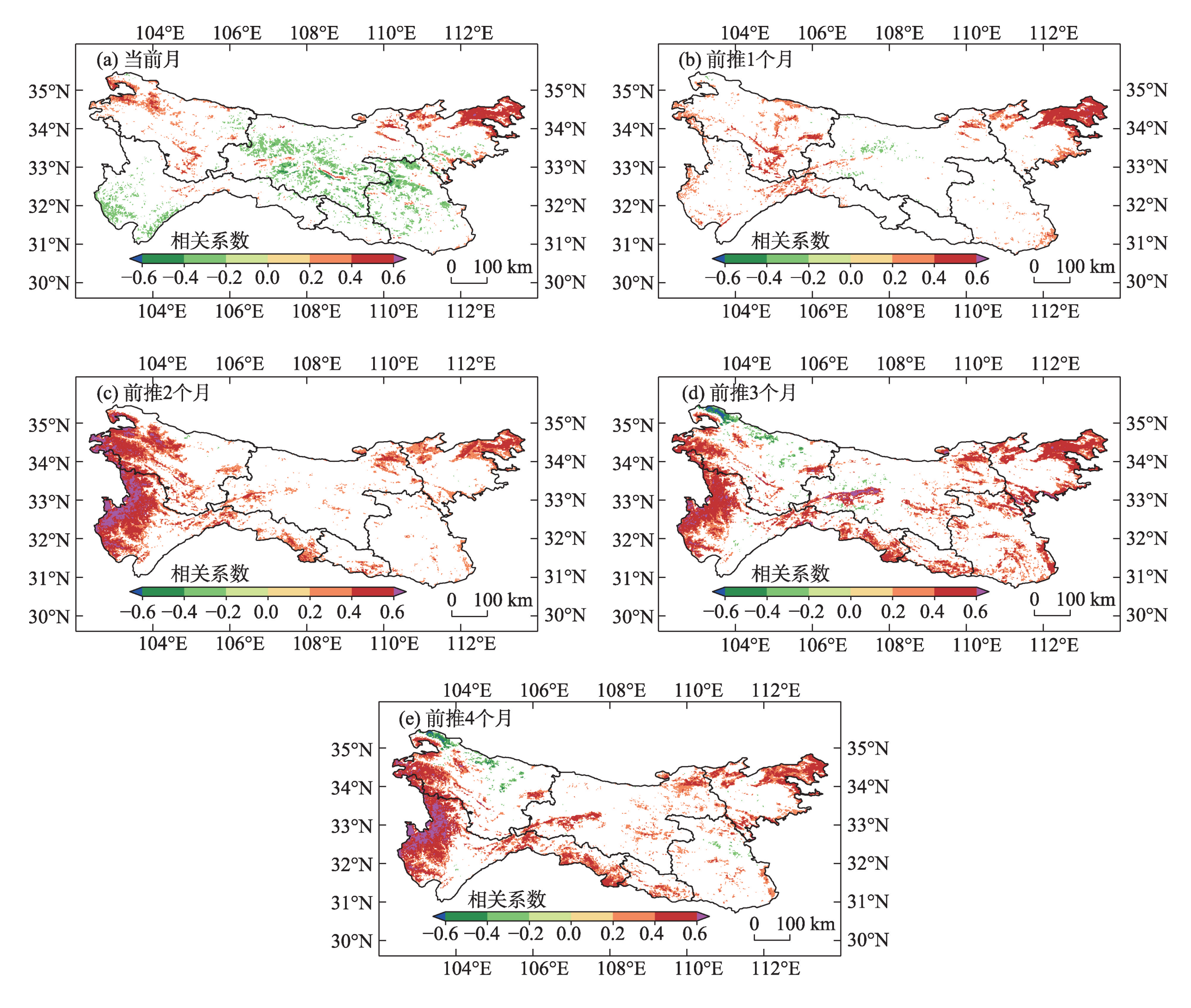


图10 2001—2019年秦巴山区夏季植被NDVI与不同滞后时间降水量的相关系数空间分布

Fig. 10 Spatial distribution of correlation coefficients between the NDVI in summer and precipitation in a 0- to 4- month temporal lag in the Qinling-Daba Mountains from 2001 to 2019

与气温的相关性整体较降水高，说明秦巴山区植被生长状况与气温变化更为密切。由表2可知，NDVI与降水呈不同程度相关的面积比为弱相关最大(30.6%)，在整个研究区分散分布(图11b)；中等强度相关次之(21.8%)，主要分布在研究区西部、东北部；强相关最小(0.3%)，其中正的强相关零星分布在甘肃碌曲县、四川阿坝州及汉中盆地，负的强相关主要分布在甘肃南部少部分地区。

对比图8c和图11c发现，秦巴山区NDVI对气温、降水变化的响应时间存在地域差异，在研究区西部，NDVI对降水变化以滞后2个月为主，对气温变化以滞后0个月为主，说明在该地区NDVI对气温变化响应更快；在中部NDVI对降水变化的响应时间同样具有纬度差异，由北向南分别以滞后0个月、3个月为主；在东北部NDVI对气温、降水变化均以滞后3个月为主，在东南部对降水变化以滞后3个月为主，而对气温变化具有及时性。NDVI对降水变化滞后3个月的面积占比最大(图9b)，主要分布在四川东北部及研究区东部，甘肃南部和汉江流域一带也有少量覆盖；滞后0个月的区域主要分布在四川都江堰-北川一带及汉江流域周边地区，其中，在四川都江堰-北川一带NDVI与气温的滞后相关性未通过显著性检验，说明在该区域NDVI对降水变化响应更明显；滞后4个月的区域主要分布在研究区西部及四川东北部。

2.2.4 不同植被类型对气候因子的时滞性 不同植被类型NDVI对气候因子的时滞效应存在差异[1]，本文基于中国科学院资源环境科学与数据中心提供的1:1000000中国植被类型空间分布数据，秦巴山区可划分为草甸、针叶林、高山植被、栽培植被、针

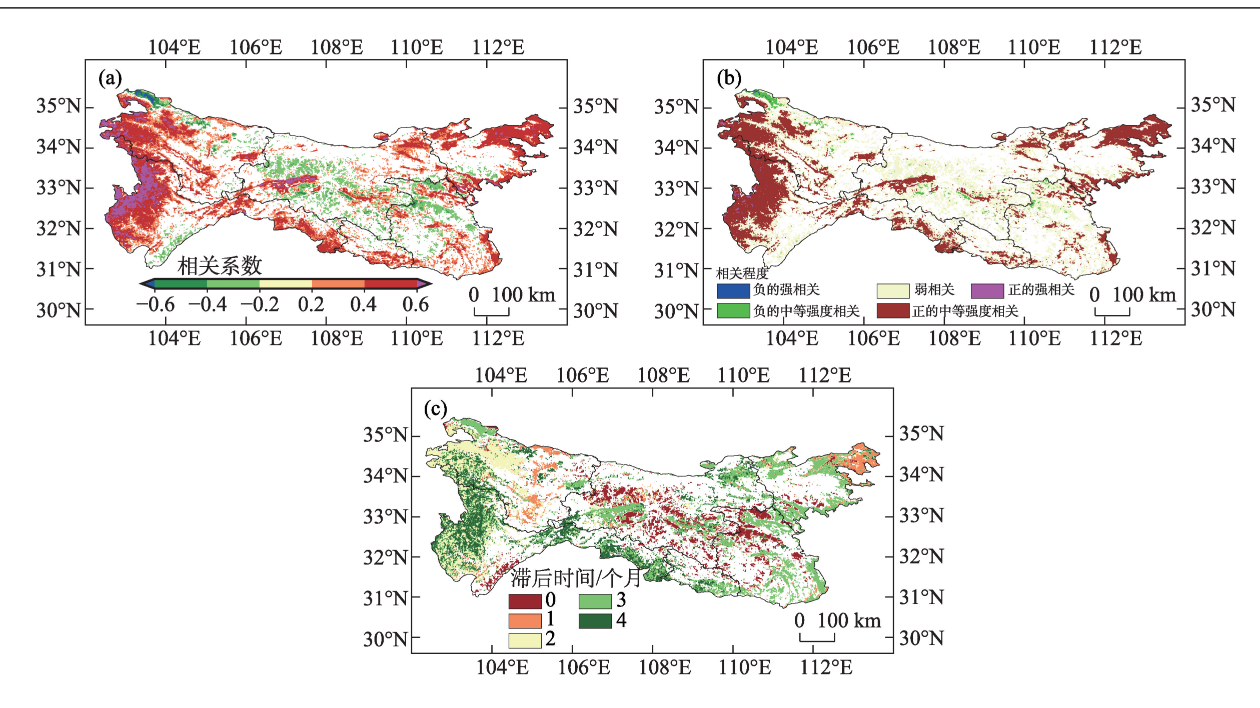


图11 2001—2019年秦巴山区夏季植被NDVI对降水的相关系数(a)、相关程度(b)及响应时间(c)的空间分布

Fig. 11 Spatial distribution of correlation coefficient (a), degree of correlation (b) and response time (c) of NDVI to precipitation in summer in the Qinling-Daba Mountains from 2001 to 2019

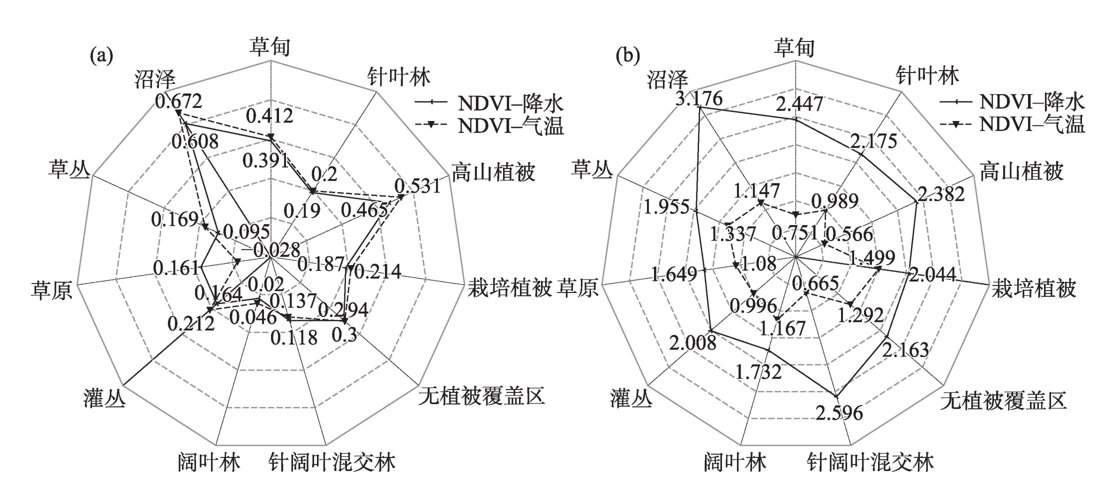


图12 秦巴山区不同植被类型NDVI与气温、降水的相关系数(a)和响应时间(b)

Fig. 12 The correlation coefficient (a) and response time (b) of NDVI with temperature and precipitation under different vegetation types in the Qinling-Daba Mountains

阔叶混交林、阔叶林、灌丛、草原、草丛、沼泽、无植被区域11个植被类型，不同植被类型NDVI与气候因子的时滞性如图12所示。可以看出，不同植被类型NDVI与降水均表现为正相关，其中，沼泽NDVI与降水相关性最大、高山植被次之，阔叶林NDVI与降水相关性最小；草原植被覆盖下，NDVI对降水变化响应较快。除针阔叶混交林和草原外，NDVI与气温相关性均大于其与降水；不同植被类型覆盖下，NDVI对温度变化的响应均较降水变化快，其中，高山植被NDVI对温度变化具有及时性。

3 结论与讨论

本文基于秦巴山区2001—2019年夏季NDVI数据、2—8月气温和降水数据，对NDVI和气候因子的时空分布特征、两者之间的相关关系及NDVI对气候因子的时滞效应进行分析，得到以下结论：

(1) 秦巴山区近19 a夏季NDVI整体以0.6%·a^{-1}的速率增加；6月NDVI均值低于7月和8月，对应年

变化速率高于7月和8月。NDVI均值分布呈中部高、东西低,以浓密植被覆盖区为主;大部分地区NDVI变化趋势>0,以极显著增加为主,植被生长状况整体得到改善。

(2)秦巴山区夏季平均气温呈西低东高,气温变化以上升趋势为主;降水从西北向东南逐渐增加,106°E以西降水变化呈增加趋势,106°E以东呈减少趋势。气温、降水空间分布主要受海拔影响;同一地形因子对气温影响强于降水。

(3)NDVI与气温、降水均以正相关为主,且与气温变化更密切。NDVI对气温、降水变化的响应时间存在地域差异,在研究区西部NDVI对气温变化具有及时性,对降水变化以滞后2个月为主;在中部对气温、降水变化的响应时间具有纬度差异,由北向南分别以滞后1个月、0个月和0个月、3个月为主;在东北部对气温、降水变化均以滞后3个月为主,在东南部对气温变化具有及时性,对降水变化以滞后3个月为主。

秦巴山区地形复杂,其NDVI分布表现出明显海拔依赖性,这与现有研究结论[19]是一致的。植被变化受到多种气候因素的共同影响,本文仅初步探讨了秦巴山区夏季植被与气温、降水的相关关系,对不同海拔条件下夏季NDVI与多种气象因子的反馈机理没有深入分析。此外,NDVI时空演变是气候变化、土地利用等自然和人类活动多种因素综合作用的结果。人类活动对植被变化有双重影响,退耕还林还草工程的实施使植被覆盖增加,而快速城市化对植被覆盖造成一定负面影响,后续研究还需分析植被变化对人类活动的反馈机制。本文仅指出近19 a秦巴山区整体植被NDVI变化趋势存在季节内差异,即6月NDVI多年平均值低于7月和8月,但并未深究其原因,这些都需在未来研究中进一步明确。

参考文献(References):

[1] 张景华, 封志明, 姜鲁光, 等. 澜沧江流域植被NDVI与气候因子的相关性分析[J]. 自然资源学报, 2015, 30(9): 1425-1435. [Zhang Jinghua, Feng Zhiming, Jiang Luguang, et al. Analysis of the correlation between NDVI and climate factors in the Lancang River Basin[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(9): 1425-1435.]

[2] 张华, 徐存刚, 王浩. 2001—2018年西北地区植被变化对气象干旱的响应[J]. 地理科学, 2020, 40(6): 1029-1038. [Zhang Hua, Xu Cungang, Wang Hao. Response of vegetation change to meteorological drought in Northwest China from 2001 to 2018[J]. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(6): 1029-1038.]

[3] Chu H S, Venevsky S, Wu C, et al. NDVI-based vegetation dynamics and its response to climate changes at Amur-Heilongjiang River Basin from 1982 to 2015[J]. Science of the Total Environment, 2018, 650: 2051-2062.

[4] 易雪, 杨森, 刘鸣彦, 等. 辽宁省植被覆盖度时空变化特征及其对气候变化的响应[J]. 干旱气象, 2021, 39(2): 252-261. [Yi Xue, Yang Sen, Liu Mingyan, et al. Spatio-temporal variation characteristics of vegetation coverage and its response to climate change in Liaoning Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2021, 39(2): 252-261.]

[5] 何朝霞. 复杂地形下植被指数对地表温度的响应[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(25): 1-6. [He Zhaoxia. Influence of vegetation index on surface temperature in complicated topography[J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(25): 1-6.]

[6] 杨艳萍, 陈建军, 覃巧婷, 等. 2000—2018年广西植被时空变化及其对地形、气候和土地利用的响应[J].农业工程学报, 2021, 37(17): 234-241. [Yang Yanping, Chen Jianjun, Qin Qiaoting, et al. Temporal and spatial variation of vegetation and its response to topography, climate and land use in Guangxi during 2000-2018 [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(17): 234-241.]

[7] Lauwaet D, Lipzig M P N, Ridder K. The effect of vegetation changes on precipitation and mesoscale convective systems in the Sahel[J]. Climate Dynamics, 2009, 33(4): 521-534.

[8] Taylor C M, Lambin E F, Stephenne N, et al. The influence of land use change on climate in the Sahel[J]. Journal of Climate, 2002, 15 (24): 3615-3629.

[9] Klein C, Bliefernicht J, Heinzeller D, et al. Feedback of observed interannual vegetation change: A regional climate model analysis for the West African monsoon[J]. Climate Dynamics, 2017, 48: 2837-2858.

[10] 周玉科. 青藏高原植被NDVI对气候因子响应的格兰杰效应分析[J]. 地理科学进展, 2019, 38(5): 718-730. [Zhou Yuke. Detecting granger effect of vegetation response to climatic factors on the Tibetan Plateau[J]. Progress in Geography, 2019, 38(5): 718-730.]

[11] 曹永香, 毛东雷, 薛杰, 等. 绿洲-沙漠过渡带植被覆盖动态变化及其驱动因素——以新疆策勒为例[J]. 干旱区研究, 2022, 39(2): 510-521. [Cao Yongxiang, Mao Donglei, Xue Jie, et al. Dynamic changes and driving factors of vegetation cover in the oasis-desert ecotone: A case study of Cele, Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2022, 39(2): 510-521.]

[12] Zhang Y, Gao J, Liu L, et al. NDVI-based vegetation changes and their responses to climate change from 1982 to 2011: A case study in the Koshi River Basin in the middle Himalayas[J]. Global & Planetary Change, 2013, 108(SEP.): 139-148.

[13] Piao S L. Interannual variations of monthly and seasonal normalized difference vegetation index (NDVI) in China from 1982 to 1999[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2003, 108 (D14).

[14] 马守存, 保广裕, 郭广, 等. 1982—2013年黄河源区植被变化趋势及其对气候变化的响应[J]. 干旱气象, 2018, 36(2): 226-233. [Ma Shoucun, Bao Guangyu, Guo Guang, et al. Change trend of vegetation and its responses to climate change in the source region of the Yellow River[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(2): 226-233.]

[15] 曲学斌, 孙小龙, 冯建英, 等. 呼伦贝尔草原NDVI时空变化及其对气候变化的响应[J]. 干旱气象, 2018, 36(1): 97-103. [Qu Xuebin, Sun Xiaolong, Feng Jianying, et al. Temporal and spatial variation of NDVI in Hulun Buir grassland and its response to climate change[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(1): 97-103.]

[16] 李辉霞, 刘国华, 傅伯杰. 基于NDVI的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究[J]. 生态学报, 2011, 31(19): 5495-5504. [Li Huixia, Liu Guohua, Fu Bojie. Response of vegetation to climate change and human activity based on NDVI in the Three-River Headwaters region[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (19): 5495-5504.]

[17] 张月悦, 程志刚, 陈笑笑, 等. 秦巴山区植被快速变化区典型气候指标的演变特征及其海拔依赖性分析[J]. 成都信息工程大学学报, 2020, 35(4): 471-478. [Zhang Yueyue, Cheng Zhigang, Chen Xiaoxiao, et al. Analysis on the variation characteristics of typical climatic indexes and its altitude dependence in the region of rapid vegetation changes of Qinba Mountain[J]. Journal of Chengdu University of Information Technology, 2020, 35(4): 471-478.]

[18] 刘宪锋, 潘耀忠, 朱秀芳, 等. 2000—2014年秦巴山区植被覆盖时空变化特征及其归因[J]. 地理学报, 2015, 70(5): 705-716. [Liu Xianfeng, Pan Yaozhong, Zhu Xiufang, et al. Spatiotemporal variation of vegetation coverage in Qinling-Daba Mountains in relation to environmental factors[J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(5): 705-716.]

[19] 宾昕, 程志刚, 王俊锋, 等. 近17 a秦巴山区NDVI季节变化差异及其海拔依赖性特征分析[J]. 成都信息工程大学学报, 2019, 34(3): 302-307. [Bin Xin, Cheng Zhigang, Wang Junfeng, et al. Seasonal variation of NDVI and altitude dependent characteristics in Qinling-Daba Mountains in recent 17 years[J]. Journal of Chengdu University of Information Technology, 2019, 34(3): 302-307.]

[20] 陈超男, 朱连奇, 田莉, 等. 秦巴山区植被覆盖变化及气候因子驱动分析[J]. 生态学报, 2019, 39(9): 3257-3266. [Chen Chaonan, Zhu Lianqi, Tian Li, et al. Spatial-temporal changes in vegetation characteristics and climate in the Qinling-Daba Mountains [J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(9): 3257-3266.]

[21] 王涛, 白红英. 秦岭山地植被NDVI对气候变化与人类活动的响应[J]. 山地学报, 2017, 35(6): 778-789. [Wang Tao, Bai Hongying. Variation of vegetation NDVI in response to climate changes and cuman activities in Qinling Mountains[J]. Mountain Research, 2017, 35(6): 778-789.]

[22] 李玉文. 秦巴山区暴雨与地质灾害关系的气候学特征分析[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2007. [Li Yuwen. The Climatorological Analysis on the Relationship between Storms and Geologieal Disasters in Qinba Area[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2007.]

[23] 彭守璋. 中国1 km分辨率逐月降水量数据集(1901-2021)[DB/OL]. 国家青藏高原科学数据中心, 2020. doi: 10.5281/zenodo.3185722. [Peng Shouzhang. 1 km monthly precipitation dataset for China (1901-2021)[DB/OL]. National Tibetan Plateau/Third Pole Environment Data Center, 2020. doi:10.5281/zenodo.3185722.]

[24] Ding Y X, Peng S Z. Spatiotemporal trends and attribution of drought across China from 1901-2100[J]. Sustainability, 2020, 12 (2): 477.

[25] Peng S Z, Ding Y X, Wen Z M, et al. Spatiotemporal change and trend analysis of potential evapotranspiration over the Loess Plateau of China during 2011-2100[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2017, 233: 183-194.

[26] Peng S Z, Ding Y X, Liu W Z, et al. 1 km monthly temperature and precipitation dataset for China from 1901 to 2017[J]. Earth System Science Data, 2019, 11: 1931-1946.

[27] Peng S, Gang C, Cao Y, et al. Assessment of climate change trends over the Loess Plateau in China from 1901 to 2100[J]. International Journal of Climatology, 2018, 38(5): 2250-2264.

[28] 李天文, 刘学军, 陈正江, 等. 规则格网DEM坡度坡向算法的比较分析[J]. 干旱区地理, 2004, 27(3): 398-404. [Li Tianwen, Liu Xuejun, Cheng Zhengjiang, et al. Study on the accuracy and algorithms for calculating slopes and aspects based on the digital elevation mode[J]. Arid Land Geography, 2004, 27(3): 398-404.]

[29] 邓晨晖. 气候变化背景下秦岭山地物候时空变化及其响应[D]. 西安: 西北大学, 2018. [Deng Chenhui. Spatiotemporal Variation of Phenology and Its Response in Qinling Mountains in the Context of Climate Change[D]. Xi'an: Journal of Northwest University, 2018.]

[30] 周梦甜, 李军, 朱康文. 西北地区NDVI变化与气候因子的响应关系研究[J]. 水土保持研究, 2015, 22(3): 182-187. [Zhou Mengtian, Li Jun, Zhu Kangwen. Changes of NDVI in different regions of northwest area and its responses to climate factor[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2015, 22(3): 182-187.]

[31] 徐海涛. 秦巴山区生态状况与保护成效评估研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2019. [Xu Haitao. Study on the Assessment of Ecological Status and Protection Effectiveness in Qinba Mountains[D]. Chengdu: Journal of Chengdu University of Technology, 2019.]

Variations in the NDVI characteristics during the summer and the climatic factor responses in the Qinling-Daba Mountains

FU Shasha[1], PENG Wei[1,2], SHAO Aimei[1], CAI Dihua[3], LUO Miaoxin[1], LIU Zhaojing[1]

(1. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu, China; 2. College of Chemistry and Materials Science, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, Hunan, China; 3. Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, Gansu, China)

Abstract: Monthly summer NDVI and meteorological data from February to August, 2001−2019, were used to analyze the changes in NDVI and the time lag effects of NDVI on climate factors in the Qinling-Daba Mountains. The results showed that NDVI presented an overall increasing trend in the Qinling-Daba Mountains, and the area with a highly significant increase in NDVI accounted for the largest proportion, with a value of 77.1%. There were positive correlations between NDVI and the temperature and precipitation, in which the correlations between NDVI and temperature were higher than those with precipitation. The response of the NDVI to climate factor changes showed significant time lag effects, and the spatial distributions of the lag time had regional differences. In the western regions of the Qinling-Daba Mountains, NDVI had a timely response to temperature changes and a 2−month lag response to precipitation changes. In the central regions, the lag time of the NDVI responses to temperature and precipitation changes varied with latitude. There were generally 1−and 0−month lag responses for temperature changes and 0− and 3− month lag responses for precipitation changes from north to south, respectively. In the northeastern regions there was a 3− month temporal lag in NDVI to the changes in temperature and precipitation. In the southeastern regions, NDVI had a timely response to temperature change and a 3−month lag response to precipitation change. This study provides scientific basis for summer storm and geological disaster warnings in the Qinling-Daba Mountains.

Keywords: NDVI; climate factors; trend analysis; the Qinling-Daba Mountains; time lag responses